中国生态农业学报 2016 年 12 月 第 24 卷 第 12 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Dec. 2016, 24(12): 1693−1702

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160456

喀斯特山地土地利用变化的垂直分布特征*

许尔琪 张红旗**

(中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟重点实验室 北京 100101)

摘 要 喀斯特山区土地利用变化受复杂地形影响，以往大尺度研究皆是对整个研究区地形特征进行统计，局部土地利用变化空间特征和差异研究较少。本文以黔桂喀斯特山地为例，构建土地利用动态垂直梯度指数，刻画和揭示研究区土地利用变化的垂直分布特征。结果表明：1990—2010 年，喀斯特山地土地利用的净变化面积较小，但各土地利用类型的相互转化剧烈。耕地被建设用地挤占，林地和草地又被开垦为耕地；生态恢复工程使得林地、草地和水域等明显增加。增加和减少的耕地在垂直分布上明显错位，减少耕地主要分布于低海拔(0~200 m)和缓坡度(0°~5°)区域，而增加耕地主要位于高海拔(600~1 400 m)和陡坡(8°~25°)区域；增加和减少的林地和草地在分布上相互对应，分别在 800~1 400 m 和 8°~25°出现峰值；水域和建设用地的增加多位于低海拔(0~800 m)和缓坡度(0°~5°)区域。应用土地利用动态垂直梯度指数发现，尽管 2000—2010 年研究区新增建设用地集中在最低海拔和最缓坡度等级，但局部范围内新增建设用地趋近于相对更高海拔和陡坡区域分布。有限土地资源使得喀斯特山区有向高海拔、陡坡区域进行土地利用开发的趋势。土地利用动态垂直梯度指数，既可进一步支撑采用全局统计分析方法结论，也可分析和挖掘土地利用变化垂直分布特征的局部相对差异。

关键词 土地利用变化 海拔分布 坡度分布 垂直梯度指数 喀斯特山地
中图分类号: K903 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)12-1693-10

Vertical distribution of land use in karst mountainous region*

XU Erqi, ZHANG Hongqi**

(Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Complex terrain features affect the land use in the karst mountain regions. Vertical changes of land uses impact on their total qualities and utilization efficiencies. Characterizing the vertical distribution of land use change can guide the land use spatial management and optimization. The conventional methods were used to analyze the vertical distribution of the land use change for the entire study area in the large-scale analysis of previous studies, which may ignore the locally spatial information and discrimination. Taking the Guizhou and Guangxi karst mountainous region as the study area, the newly vertical gradient index of land use change, including the elevation gradient index and slope gradient index, were built and used to characterize and analyze the locally vertical distribution of land use change in the typical karst mountain. Results showed a relatively small net area of land use change, but a violently mutual conversion of various land use types in the study area from 1990 to 2010. Considerable arable lands were occupied by the expanded built-up lands, and the forests and grasslands were reclaimed to the arable land. Meanwhile, the forest, grassland and water body increased significantly because of the ecological restoration project. The conversion between the arable land, forest and grassland was the most intense. It showed a significant mismatch of the vertical distribution for the increased and decreased arable land. Decreased arable lands were primarily located in the region with the low altitude (0–200 m) and gentle slope (0°–5°). In contrast, the increased arable lands were

* 国家重点基础研究发展计划项目(973 计划) (2015CB452702)和国家自然科学基金项目(41601095)资助
**通讯作者：张红旗，主要从事土地利用及空间格局研究。E-mail: zhanghq@igsnrr.ac.cn
许尔琪，主要从事土地利用及空间格局、生态环境效应研究。E-mail: xueq@igsnrr.ac.cn
收稿日期: 2016−05−19 接受日期: 2016−09−08

* Funded by the National Program on Key Basic Research Project of China (973 Program, 2015CB452702) and the National Natural Science Foundation of China (41601095)
** Corresponding author, E-mail: zhanghq@igsnrr.ac.cn
Received May 19, 2016; accepted Sep. 8, 2016

primarily located in the area with the high altitude (600–1 400 m) and steep slope (8°–25°). It was a reciprocal relationship of vertical distribution between the increased and decreased forests and grassland, both types peaked at the altitude of 800–1 400 m and the slope of 8°–25°. The increased water body and built-up land were primarily located in area with the low altitude (0–800 m) and gentle slope (0°–5°). The vertical gradient index of land use change could quantify and visualize the local distribution and relative degree of land use change trend. Based on the vertical gradient index, most vertical distribution of land use change at local scale were found to be consistent to those at global scale, but also parts were different, which were not founded by the traditional methods. Although the newly expanded built-up land from 2000 to 2010 were mostly located in area of the lowest elevation and gentle slope class, they tended to be located in area with the relatively higher altitude and steeper slope compared to the originally vertical distribution at the local scale. Limited land resources leaded to the development of land uses approaching area with the relatively higher altitude and steeper slope in the Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region. The results demonstrated that the vertical gradient index of land use change might further support the results from the global statistical analysis, but also could analyze and explore the vertical distribution of land use change at the local scale, which was easily omitted by the traditional methods.

Keywords Land use change; Elevation distribution; Slope distribution; Vertical gradient index; Karst mountain

人类通过对与土地有关的自然资源的利用，改变地球陆地表面的覆被状况[1]，以满足需求、获得物质产品和服务[2]。随着工业化、城市化和经济的快速发展，各种土地利用类型之间的争夺与冲突日趋激烈。例如，城市用地、工业用地占用耕地[3–5]，耕地开垦占用林、草地，以及大规模的退耕还林还草[6–7]等等，各类用地相互竞争剧烈。面对耕地的快速减少，我国实行了最严格的土地用途管制和耕地保护制度，其中耕地占补平衡便是其中最为重要的环节[8]。然而，耕地“占补”平衡往往更多地体现的是一种耕地数量上的平衡，而非质量上的平衡，现实中出现以质量差的山区耕地“置换”平地的基本农田等现象[8]。在山区，其特殊地理结构和土地资源条件，使得耕地后备资源不足，土地开发整理标准要求高，占补平衡形势不容乐观[9]，尤其耕地在垂直分布上的变化，将很大程度影响耕地在“质”的平衡。山区地表起伏大，复杂的地形特征影响着土地利用的方向与方式，对土地利用/覆被有显著影响[10]，同时，土地利用在垂直分布上的差异又将影响用地本身的质量和利用方向。因此，分析土地利用随地形梯度的变化，能够揭示土地利用变化的规律性，有助于科学地进行区域土地利用规划与结构调整。

以往研究表明，随着海拔、坡度及坡向等相关地形因子的变化，不同土地利用类型的变化趋势表现出不同变化特征[11–17]。而在我国的喀斯特山区，有限的土地资源和密集的人口，使得用地竞争和矛盾更为突出[18]，但目前关于喀斯特山区土地利用变化的垂直分布特征尚缺乏大尺度研究。以往研究中，皆是对各地形因子进行分级统计，以分析包括农牧交错区、喀斯特山区、太行山区和黄土丘陵区等区域土地利用的变化趋势和垂直分布特征[11–17]，部分学者引入地形位指数和分布指数来描述地形差异[19–25]，而山区地形起伏大，局部区域的地形差异明显，进行统一的分级统计会忽略了局部土地利用变化的空间信息。有鉴于此，本研究以黔桂喀斯特山地为例，在分析 1990—2010 年土地利用变化总体特征的基础上，以县域为单位，构建土地利用动态垂直梯度指数，探讨土地利用变化在地形梯度上的空间分布差异。

1 研究方法

1.1 研究区概况

本文选取的黔桂喀斯特山地范围，主要参考中国国家自然地图集[26]中的华南喀斯特地形图及亚洲喀斯特地形分布图。研究区位于 42°15′~44°55′N、80°5′~84°5′E 之间(图 1)，面积 21.41 万 km^2。该区海拔范围为 0~2 848 m，自西北向东南逐渐降低；地貌类型以中小山地为主，从中山丘陵逐步过渡到低山盆地；植被类型以亚热带落叶林、阔叶林和混交林为主，并有部分热带雨林和高山植被类型；土壤类型以石灰土、黄壤和红壤为主，其余类型土壤零星分布。行政区划主要包括贵州省中南部和广西省中西部。

1.2 数据来源

土地利用矢量数据(1990 年、2000 年和 2010 年，图 2)来自中国科学院资源环境科学数据中心，包括 6 个一级类：耕地、林地、草地、水域、城乡工矿及居民用地(以下统称建设用地)和未利用地(研究区为裸岩)等，该数据为矢量数据格式，一级土地利用分类综合评价精度达到 94.3%以上，满足 1∶10 万比例尺用户制图精度；应用地形分析工具(Arcgis 10.1)和数字高程模型 GDEM 数据(来自地理空间数据云 http://www.gscloud.cn/)，本研究提取了研究区的海拔和坡度分布图，以作后续分析。

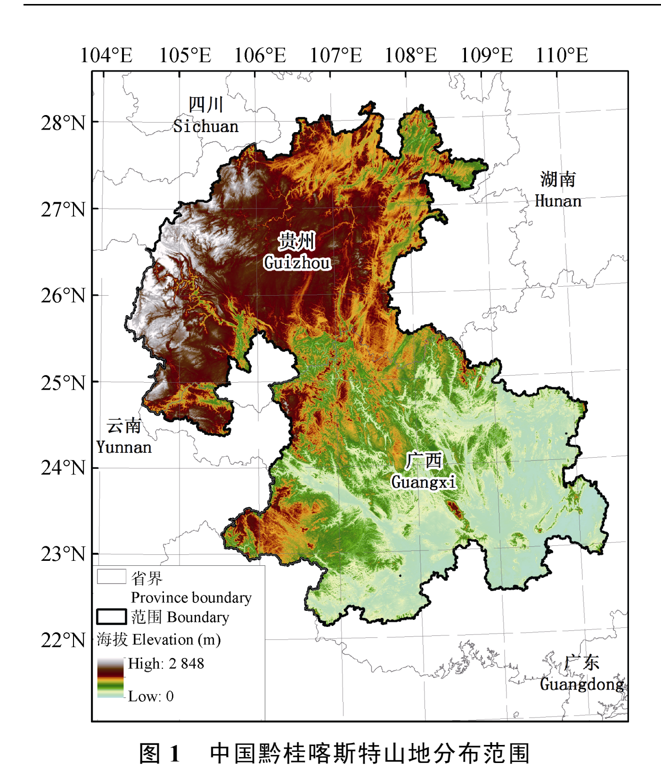


图 1　中国黔桂喀斯特山地分布范围

Fig. 1　Location and scope of Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region

1.3　研究方法

1.3.1　土地利用类型动态度

土地利用类型动态度是指研究区一定时间范围内，某一土地利用类型数量变化的速率，其公式[27]如下：

$$K=\frac{U_{\mathrm{b}}-U_{\mathrm{a}}}{U_{\mathrm{a}}}\times\frac{1}{T}\times 100\% \tag{1}$$

式中：K 为研究时段内某一土地利用类型动态度，本文表示为土地利用的年变化率；U_{a} 和 U_{b} 分别为研究初期及末期某一土地利用类型的数量；T 为研究时长。

1.3.2　地形分级依据与划分

根据研究区的海拔分布特征，以 200 m 为 1 个等级，从低到高，本文共设置 10 个海拔分级；坡度则是按照水土保持综合治理规划通则(GB/T15772—1995)，划分为 6 个坡度分级，依次为微坡、较缓坡、缓坡、较陡坡、陡坡和急陡坡(表 1)。

1.3.3　土地利用动态垂直(海拔和坡度)梯度指数

土地利用变化的垂直分布差异，受限于该区域所处的位置，是在一定的海拔或者坡度范围内发生变化，例如，位于高山地区地势较低的耕地，其海拔仍高于位于丘陵地区地势较高的耕地；若进行全区的统计，按照 2.3.2 进行统一的海拔分级，则不同地区耕地变化的相对差异被掩盖，难以揭示。因此，本研究以县域各土地利用类型的平均海拔(坡度)作为参考，进行标准化计算，表征研究时段内某一类型土地利用变化区域所在海拔(坡度)相对于该时段初期对应类型土地利用的平均海拔(坡度)的高低，通过该指数可分析土地利用变化垂直分布在空间上的相对差异。其计算公式如下：

$$F_{\mathrm{E}}^{i}=\frac{\overline{E_{i}^{b-a}}}{\overline{E_{i}^{a}}} \tag{2}$$

$$F_{\mathrm{S}}^{i}=\frac{\overline{S_{i}^{b-a}}}{\overline{S_{i}^{a}}} \tag{3}$$

式中：F_{E}^{i} 和 F_{S}^{i} 为土地利用动态海拔和坡度垂直梯度指数；i 表示某一土地利用类型，本文包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地等 6 类；$\overline{E_{i}^{b-a}}$ 和 $\overline{S_{i}^{b-a}}$ 分别表示在研究时段内某一土地利用类型发生变化任意栅格/斑块(本文以栅格作为最小计算单元)所在的海拔和坡度，a 和 b 分别表示研究的

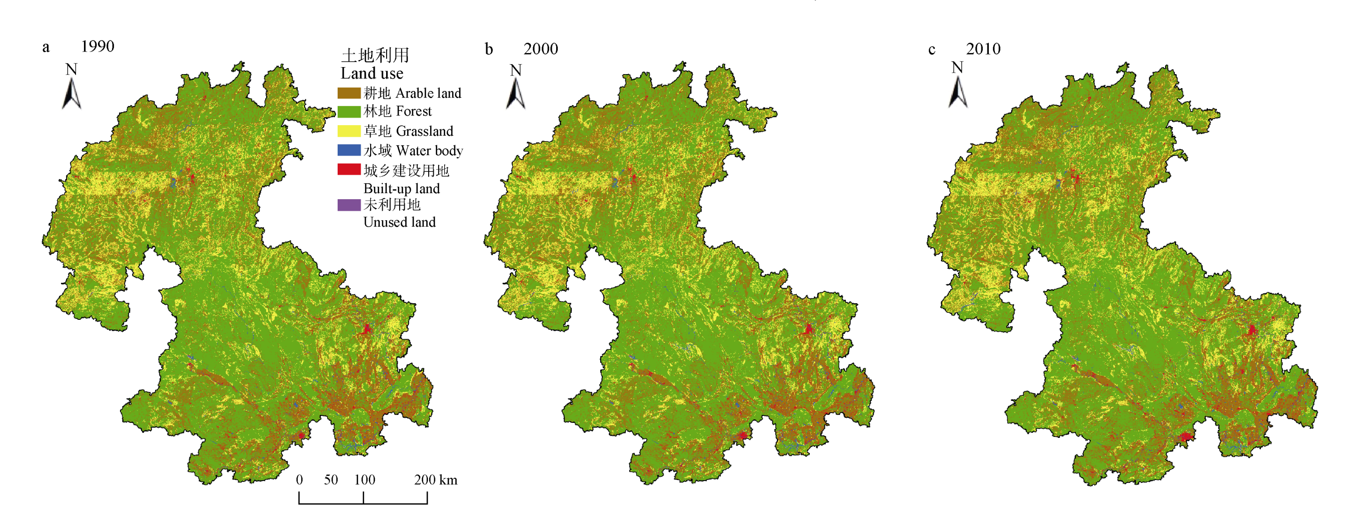


图 2　1990 年(a)、2000 年(b)和 2010 年(c)黔桂喀斯特山地土地利用图

Fig. 2　Land use map of Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region in 1990 (a), 2000 (b) and 2010 (c)

表 1 黔桂喀斯特山地海拔和坡度分级
Table 1 Classes of elevation and slope in Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region

等级 Class	海拔 Elevation (m)	坡度 Slope gradient (°)
1	0~200	0~5
2	200~400	5~8
3	400~600	8~15
4	600~800	15~25
5	800~1 000	25~35
6	1 000~1 200	>35
7	1 200~1 400	
8	1 400~1 600	
9	1 600~1 800	
10	>1 800	

初期及末期；$\overline{E_i^a}$ 和 $\overline{S_i^a}$ 分别表示该栅格单元所在县域单元内 i 种土地利用类型在研究初期的平均海拔和平均坡度。若 F_{E}^i 和 F_{S}^i 为 1，表示发生变化的栅格单元与相应土地利用类型的平均海拔和坡度相当；当 F_{E}^i 或 F_{S}^i 大于 1，值越大，表示变化的土地利用栅格单元越趋近于高海拔或陡坡区域；反之，当 F_{E}^i 或 F_{S}^i 小于 1，值越小，则表示变化的土地利用栅格单元越趋近于低海拔或缓坡区域。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化的总体特征

1990—2010 年，黔桂喀斯特山地土地利用结构以林地面积最大，比重超过 50%；耕地、草地、建设用地和水域面积分列 2 到 5 位；未利用地面积很小，比重仅为 0.01%(表 2)。20 年间，研究区各土地利用数量净变化相对较小，年均变化率最大值也没有超过 1%，且 1990—2000 年土地利用变化幅度小于 2000—2010 年时段。其中，水域和建设用地的变化率最高，两个时段的增加速度分别是 0.384%和 0.797%，以及 0.651%和 0.899%，净增加量分别为 1.96 万 hm^2 和 4.39 万 hm^2；耕地在两个时段均呈现减少的趋势，分别减少了 0.22 万 hm^2 和 2.42 万 hm^2，第 2 时段减少速率(0.043%)远高于第一时段的减少速率(0.004%)；林地呈现先减少后增加的趋势，20 年来面积略有增加，净增加了 6.00 万 hm^2；草地则呈现持续下降的趋势，净减少了 9.70 万 hm^2。

表 2 1990 年、2000 年和 2010 年黔桂喀斯特山地土地利用动态变化
Table 2 Land use change in Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region from 1990 to 2000 and from 2000 to 2010

土地利用类型 Land use type	1990 年 Year 1990		2000 年 Year 2000			2010 年 Year 2010		
	数量 Area (10^4 hm^2)	比例 Proportion (%)	数量 Area (10^4 hm^2)	比例 Proportion (%)	变化率 Change rate (%)	数量 Area (10^4 hm^2)	比例 Proportion (%)	变化率 Change rate (%)
耕地 Arable land	561.81	26.24	561.59	26.23	–0.004	559.17	26.11	–0.043
林地 Forest	1 212.94	56.64	1 210.93	56.55	–0.017	1 218.94	56.92	0.066
草地 Grassland	323.01	15.08	322.55	15.06	–0.014	313.31	14.63	–0.287
水域 Water body	18.50	0.86	19.21	0.90	0.384	20.46	0.96	0.651
建设用地 Built-up land	24.84	1.16	26.82	1.25	0.797	29.23	1.36	0.899
未利用地 Unused land	0.23	0.01	0.23	0.01	0.000	0.22	0.01	–0.435

研究区各土地利用类型的相互转化剧烈(图 3a, b)，如 1990—2000 年耕地减少和增加量分别为 2.22 万 hm^2 和 2.44 万 hm^2，2000—2010 年则分别为 6.27 万 hm^2 和 3.85 万 hm^2，变化面积远高于土地利用净变化面积(0.22 万 hm^2 和 2.42 万 hm^2)。1990—2000 年，耕地、林地和草地的相互转化面积较大，建设用地扩张和水域变化面积在数量级上明显低于上述 3 类用地。耕地增加主要来自林地，其次来源为草地，林地和草地转为耕地面积分别是 1.45 万 hm^2 和 0.70 万 hm^2，分别占耕地转入总面积的 65.24%和 31.53%，毁林开荒的现象依然频繁，而减少的耕地主要是建设用地扩张所占，占耕地转出总面积的 65.76%；林地变化面积最大，林草相互转化最为频繁，林地转为草地和草地转为林地的面积分别为 3.76 万 hm^2 和 3.56 万 hm^2；水域增加来源主要来自耕地和林地，收缩的面积很小。

2000—2010 年，耕地、林地和草地转化仍然比较剧烈，草地的变化面积最大；耕地增加源主要来自草地，其次是林地，分别为 2.75 万 hm^2 和 1.06 万 hm^2，林地与草地转变为耕地主要是由于土地开发整治；虽然建设用地的增加仍然主要来自耕地占用，但耕地减少的主要量由建设用地转为林地，耕地转为林地的面积为 3.54 万 hm^2，占耕地转出总面积的 56.4%，凸显退耕还林政策实施的效果；草地转为林地，面积达到了 8.99 万 hm^2，远高于其余类型的用地转化；水域增加主要来自耕地和林地。

研究区耕地减少，主要是建设用地扩张及退耕

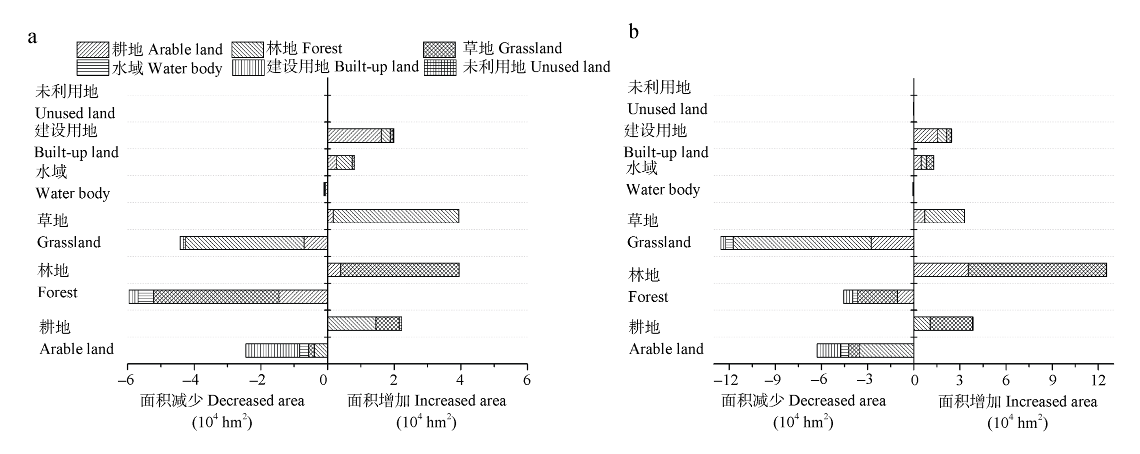


图 3　黔桂喀斯特山地 1990—2000 年(a)和 2000—2010 年(b)土地类型相互转化

Fig. 3　Transformation of land uses from 1990 to 2000 (a) and from 2000 to 2010 (b) in Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region

还林还草工程实施效果，但占补平衡政策又使得大量新耕地被开垦，总体上 20 年间耕地略有下降；建设用地则是急剧增加，以满足人口的增加以及城市化和经济的快速发展的需要；同时，珠(长)江防护林、天然林保护、退耕还林、自然保护区建设、湿地保护与恢复、石漠化综合治理等生态工程项目，使得林地、草地和水域等具有重要生态作用的土地利用类型明显增加。

2.2　土地利用变化总体垂直分布特征

应用 GIS 的空间分析技术，叠置地形因子和土地利用图，分析两个时段土地利用在海拔和坡度的变化规律(图 4 和图 5)。1990—2000 年，土地利用的增加和减少区域在海拔分布上存在错位(图 4)。在 0~200 m 海拔区间，耕地减少面积远大于增加面积，分别是 1.59 万 hm^2 和 0.55 万 hm^2；而 200~1 400 m 区间，耕地增加面积多于减少面积，分别是 0.82 万 hm^2 和 1.61 万 hm^2；林地增加面积主要在 0~600 m，达到 3.55 万 hm^2，占增加总面积近 60%，减少面积主要在 800~1 400 m，超过减少总面积 50%；相反，草地减少面积主要集中在 0~600 m，增加面积主要在 800~1 400 m；水域和建设用地增加集中在低海拔地区。2000—2010 年，各用地增加和减少区域在海拔分布一致性有明显增强(图 4)；只有耕地在 0~200 m 海拔的减少面积仍然远大于增加面积，分别是 1.50 万 hm^2 和 0.10 万 hm^2，减少耕地在 0~200 m 出现第 1 个峰值，800~1 400 m 耕地增加和减少面积也出现峰值；草地和林地在 800~1 400 m 出现峰值，垂直分布呈现相对应特征；增加和减少水域集中分布在 0~800 m 区间，各占变化面积的 86.78%和 90.65%；建设用地增加集中在 0~200 m 的低海拔地区。

1990—2000 年，耕地增加和减少的用地在坡度分布上也出现错位，0°~5°耕地减少面积远大于增加面积，分别是 1.63 万 hm^2 和 0.69 万 hm^2，而 8°~25°耕地增加面积多于减少面积，分别是 0.81 万 hm^2 和 1.51 万 hm^2；其余用地在坡度分布一致性较强(图 5)；林地和草地在 8°~25°出现变化峰值，该区间面积皆超过各自变化总面积的 50%；水域和建设用地变化集中在 0°~5°的低坡度地区，水域增加、水域减少和建设用地增加在 0°~5°区域的面积占各自变化总面积分别达 55.13%、42.50%和 70.32%。2000—2010 年，耕地 0°~5°耕地减少面积仍远大于增加面积，分别是 1.88 万 hm^2 和 0.81 万 hm^2，且减少面积在其余区间也略高于增加面积；该时段，其余用地变化的坡度分布特征与 1990—2000 年类似(图 5)。

综上所述，喀斯特山区耕地增加和减少区域在垂直分布出现一定程度错位，减少耕地主要是城市周边低海拔和缓坡度水田区域，而增加耕地主要以高海拔和陡坡的旱地为主，在占补平衡政策实施下，尽管耕地总量略有减少，但是新增的耕地质量远低于减少的耕地质量；林地和草地相互转化频繁，增加和减少的面积在海拔和坡度的垂直分布呈现相对应特征；水域和建设用地的增加趋近于低海拔和地形平坦区域。

2.3　土地利用动态垂直梯度指数分析

为进一步挖掘喀斯特山地土地利用变化在局部范围的垂直分布差异，根据公式(2)和(3)，本文计算每一土地利用类型的土地利用动态垂直梯度指数(包括海拔指数和坡度指数)。考虑到土地利用变化量相对于区域的总面积仍然较小，影响显示的效果，本文最终计算县域单元内的海拔(坡度)梯度指数平均值，且由于篇幅所限，本文仅展示 2000—2010 年时段建设用地增加的海拔和坡度梯度指数作为示例(图 6)。有接近一半县的海拔梯度指数大于 1，主要

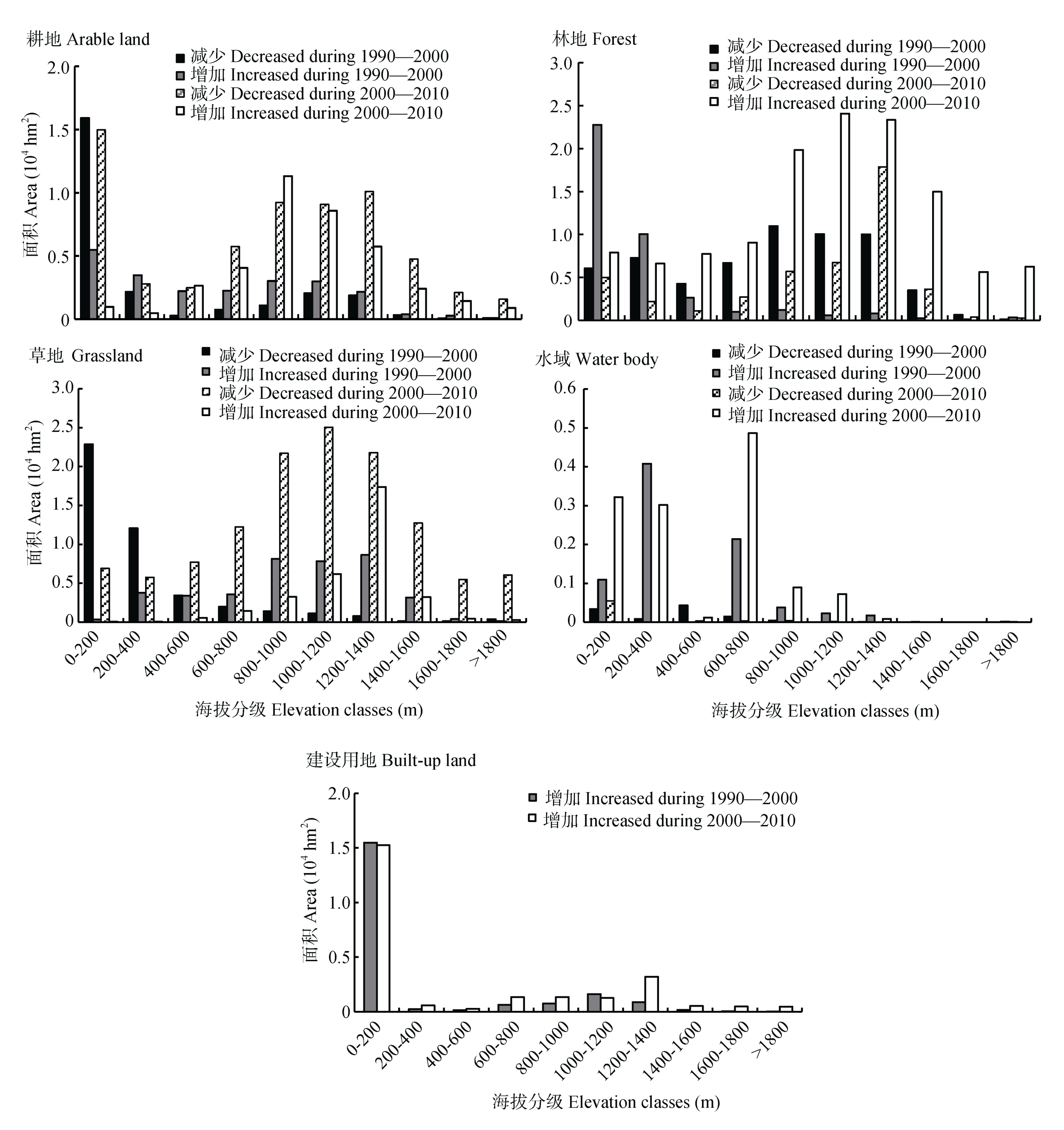


图 4 1990—2010 年黔桂喀斯特山地土地利用变化海拔分布

Fig. 4 Distribution of land use change in different elevation classes in Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region from 1990 to 2010

分布在贵州北部的遵义，西部的六盘水、黔西南地区，以及广西的百色和河池地区；更有超过 2/3 县的坡度梯度指数大于 1，主要分布贵州的大部和广西的柳州，来宾和百色地区。可见，尽管研究区新增建设用地集中在最低海拔和最缓坡度等级区间(0~200 m 和 0°~5°)(图 4，5)，但是，局部范围内新增建设用地趋近于相对更高海拔和陡坡区域分布。可见，研究区可有效利用的土地资源有限，城镇人口规模快速增长，用地规模急剧扩张，人地矛盾突显，一些城镇出现“上山建城”的现象。

表 3 分别统计了各类土地利用变化垂直梯度指数的平均值。耕地减少的海拔和坡度梯度指数(1990—2000 年)分别是 0.90 和 0.91，耕地的减少趋近于低海拔、缓坡区域分布，但是坡度梯度指数(2000—2010 年)高达 1.24，表明该时段耕地的减少趋近于坡度相对较大区域；耕地增加的数值皆大于 1，尤其是坡度梯度指数，分别达到 1.32 和 1.40，明显高于 1，表明大量陡坡土地仍被进行开发和利用。林地增加的数值基本在 1 左右，而林地减少的数值在 0.9 左右，表明相对地势低、缓坡的林地资源容易被开发为其他用地。草地减少数值在 1 左右，而增加的数值除海拔梯度指数(2000—2010 年)小于 1 外，其余都大

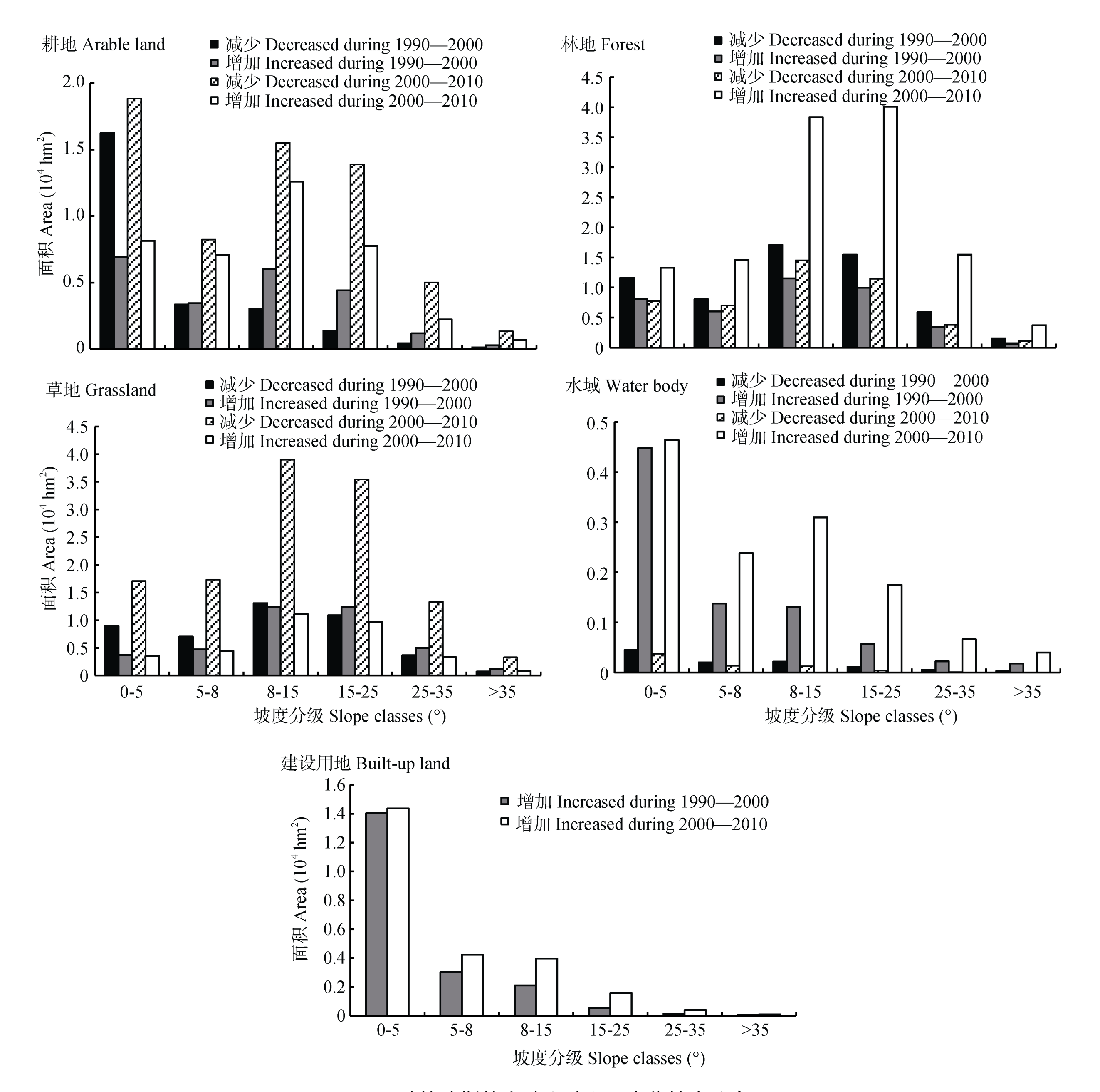


图 5　黔桂喀斯特山地土地利用变化坡度分布

Fig. 5　Distribution of land use change in different slope classes in Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region

于 1，可见，新增草地多趋于相对更高海拔和陡坡区域。除水域增加的海拔梯度指数(1990—2000 年)为 0.97，其余皆大于 1，尤其是坡度梯度指数，远大于 1，表明水域变化也趋近于相对更高海拔和陡坡区域。建设用地 1900—2000 年增加多区域在海拔相对较低、坡度较大的位置(海拔和坡度梯度指数分别为 0.92 和 1.19)。

3　讨论与建议

本文提出并计算土地利用动态垂直梯度指数，其大小能够直观展示各行政单元土地利用变化在局部的分布差异和趋势的强弱(图 6)，可进一步支撑采用全局统计分析方法的结论(图 4 和 5)，同时，也可分析土地利用变化垂直分布特征在局部的相对差异。如耕地减少和增加在垂直分布特征上得出的结论基本一致，除 2000—2010 年的坡度减少趋于陡坡区域分布外(图 5，表 3)，其余减少耕地主要位于低海拔和缓坡区域，而增加耕地主要以高海拔和陡坡为主，常规方法能够发现减少和增加的耕地在总体垂直分布的错位，垂直梯度指数则可展示土地利用变化垂直分布的相对差异，且其均值也能快速判断变化的耕地在垂直分布上变化的强弱，如耕地增加的坡度梯度指数远高于 1，表明研究区陡坡开荒现象大量存在。

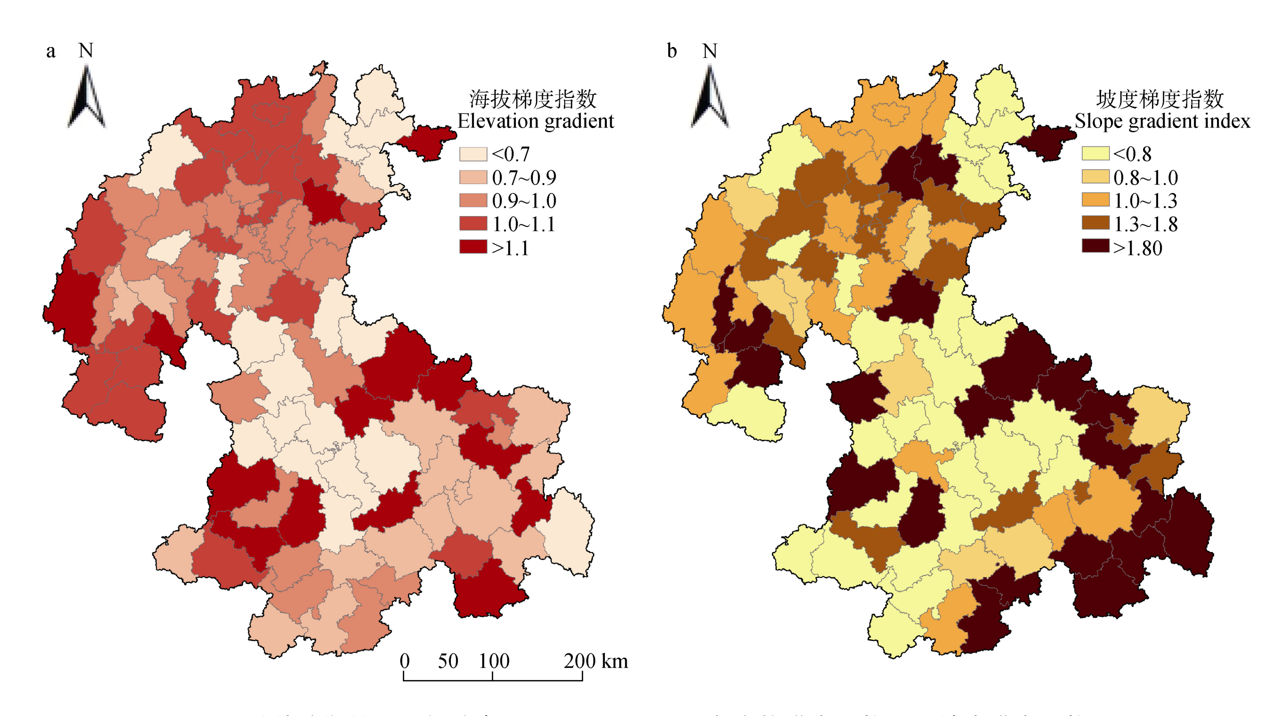


图 6 黔桂喀斯特山地新增建设用地 2000—2010 年海拔梯度指数(a)和坡度梯度指数(b)

Fig. 6 Elevation gradient index (a) and slope gradient index (b) of expanded built-up land from 2000 to 2010 in Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region

表 3 1990—2000 年和 2000—2010 年黔桂喀斯特山地土地利用动态垂直梯度指数平均值

Table 3 Average values of vertical gradient indexes of land use change in Guizhou and Guangxi Karst Mountainous Region from 1990 to 2000 and from 2000 to 2010

土地利用类型变化 Change of land use type	海拔梯度指数 Elevation gradient index		坡度梯度指数 Slope gradient index	
	1990—2000	2000—2010	1990—2000	2000—2010
耕地减少 Decreased arable land	0.90	0.99	0.91	1.24
耕地增加 Increased arable land	1.07	1.02	1.32	1.40
林地减少 Decreased forest	0.97	0.83	0.91	0.88
林地增加 Increased forest	0.95	0.99	0.98	1.01
草地减少 Decreased grassland	1.00	1.00	0.99	1.06
草地增加 Increased grassland	1.13	0.98	1.14	1.11
水域减少 Decreased water body	1.23	1.14	1.97	1.58
水域增加 Increased water body	0.97	1.14	1.37	1.52
建设用地增加 Increased built-up land	0.92	1.13	1.19	1.65

同时，垂直梯度指数能够挖掘常规方法所没有发现的规律，如采用常规研究方法，结果都表明建设用地的增加和水域的变化主要发生在低海拔和缓坡区域(图 4，5)；然而，采用土地利用动态垂直梯度指数发现，2000—2010 年的城镇扩张和水域变化都有向相对高海拔、陡坡区域分布的趋势(表 3)。可见，本研究方法所刻画和挖掘土地利用垂直分布的局部相对变化特征，部分容易被全局统计分析方法所忽略。当然，该方法的适用性和相关结论还需要进一步的讨论和验证。

因此，采用传统的全局统计方法和本文提出的地形垂直梯度指数方法，可分别从全局范围和局部差异等两个角度来揭示土地利用的垂直分布特征。本文结果表明，20 年来，喀斯特山地不同类型土地利用之间相互转化剧烈，耕地被建设用地挤占，林地和草地又被开垦为耕地；生态恢复工程使得林地、草地和水域等明显增加。研究区在城镇化发展、粮食安全和生态保护等多重需求和矛盾下，人地矛盾依然尖锐，亟须从总体上进行用地调控和协调。在有限的土地资源条件下，本文建议应着力于提高土地利用效率，从垂直分布上进行土地利用的空间优化和调控。尤其是部分趋近于更高海拔、陡坡区域土地资源开发较高的县(市)，考虑到新增的耕地质量远低于减少的耕地质量，研究区须进一步严格

保护相对优质的耕地资源，对部分不适宜耕作的坡耕地继续推行退耕还林还草政策。建设用地方面，20 年来研究区建设规模急剧扩张，一些城镇向相对高海拔和陡坡区域扩张，然而，山区脆弱的生态环境、资源环境承载能力有限，使得城镇化不宜大规模展开，应以中小城市为主，以小城镇体系建设为重点，须防止过度聚集，改善山区城镇建成区低水平的蔓延，在城镇化进程中提高建设用地利用效率，提高建设用地质量[28]。

4　结论

本文应用 GIS 空间分析技术，构建土地利用动态垂直梯度指数，刻画和分析黔桂喀斯特山地土地利用变化的垂直分布特征，结果表明：

1)1990—2010 年，研究区土地利用变化的净面积总体较小，但各类型土地利用的相互转化频繁，耕地、林地和草地转化最为剧烈。其中，林地变化面积最大，前 10 年总体减少，后 10 年显著增加；耕地前 10 年增加和减少量相当，后 10 年减少幅度较大；草地均呈减少趋势；水域和建设用地则明显扩大。人地矛盾依然尖锐，建设用地急剧增加并占用大量耕地，林地和草地则被新开垦为耕地，同时，生态恢复工程使得林地、草地和水域等明显增加。

2)耕地增加和减少区域在垂直分布出现明显错位，减少耕地主要位于低海拔(0~200 m)和缓坡度(0°~5°)区域，而增加耕地主要以高海拔(600~1 400 m)和陡坡(8°~25°)为主；林地和草地相互转化频繁，林地增加和草地减少，及林地减少和草地增加在垂直分布特征呈现相对一致，分别在 800~1 400 m 和 8°~25°出现峰值；水域和建设用地的增加主要发生在低海拔(0~800 m)和缓坡(0°~5°)区域。

3)本文构建土地利用动态垂直梯度指数，深入挖掘局部区域土地利用变化的垂直分布特征。结果发现，1990—2000 年，研究区耕地的减少趋近于相对地势低、缓坡的地区，2000—2010 年，减少的耕地趋近于相对较陡的区域分布；1990—2000 年耕地增加、草地增加、水域变化、建设用地的增加趋近于高海拔、陡坡分布；20 年间，林地的减少趋近于相对地势低、缓坡的地区。研究区可有效利用的土地资源有限，有向高海拔、陡坡区域进行城镇扩张和耕地开垦的趋势。

参考文献　References

[1] 李秀彬．全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]．地理学报，1996，51(6): 553–558
Li X B. A review of the international researches on land use/land cover change[J]. Acta Geographica Sinica, 1996, 51(6): 553–558
[2] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, et al. Human domination of earth's ecosystems[J]. Science, 1997, 277(5325): 494–499
[3] 黄季焜，朱莉芬，邓祥征．中国建设用地扩张的区域差异及其影响因素[J]．中国科学：D 辑，2007, 37(9): 1235–1241
Huang J K, Zhu L F, Deng X Z. Regional differences and determinants of built-up area expansion in China[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 37(9): 1235–1241
[4] 傅泽强，蔡运龙，杨友孝，等．中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析[J]．自然资源学报，2001，16(4): 313–319
Fu Z Q, Cai Y L, Yang Y X, et al. Research on the relationship of cultivated land change and food security in China[J]. Journal of Natural Resource, 2001, 16(4): 313–319
[5] 谈明洪，吕昌河．城市用地扩展与耕地保护[J]．自然资源学报，2005，20(1): 52–58
Tan M H, Lü C H. Urban land expansion and farmland loss in China[J]. Journal of Natural Resource, 2005, 20(1): 52–58
[6] 刘诚，刘俊昌．我国退耕还林政策的实施对粮食安全的影响[J]．北京林业大学学报：社会科学版，2007, 6(4): 42–47
Liu C, Liu J C. Influences of grain for green project on food security in China[J]. Journal of Beijing Forestry University: Social Sciences, 2007, 6(4): 42–47
[7] 雷玉桃，谢建春，王雅鹏．退耕还林与粮食安全协调机制浅析[J]．农业现代化研究，2003, 24(3): 222–224
Lei Y T, Xie J C, Wang Y P. Research on harmonious mechanism of reforestation and food security[J]. Research of Agricultural Modernization, 2003, 24(3): 222–224
[8] 王世忠，胡文霞，刘卫东．我国耕地占补平衡制度的研究[J]．农机化研究，2007(8): 13–16
Wang S Z, Hu W X, Liu W D. Review on Chinese balance system of farmland in occupation and supplement[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(8): 13–16
[9] 何腾兵，金蕾，邓冬冬．喀斯特山区县域耕地占补平衡预警[J]．农业工程学报，2012, 28(1): 238–243
He T B, Jin L, Deng D D. Early warning of cultivated land requisition-compensation balance in Karst mountainous county area[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 238–243
[10] 李丹，刘丹丹，赵金祥．基于 DEM 的山区土地利用变化分析[J]．水土保持研究，2014, 21(1): 66–70
Li D, Liu D D, Zhao J X. Analysis of land use change in mountain area based on DEM[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(1): 66–70
[11] 李飞，张树文，杨久春，等．北方农牧交错带农村居民点分布特征及其对土地利用的影响——以科尔沁左翼中旗为例[J]．地理科学，2015, 35(3): 328–333
Li F, Zhang S W, Yang J C, et al. Spatial distribution of rural settlements in farming-pastoral zone of northern China and its impact on land use pattern: A case study of Korqin Left Wing Middle Banner[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(3):

328–333
[12] 陈丹, 周启刚, 何昌华, 等. 重庆山地都市区 1985—2010 年土地利用变化地形特征分异研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 210–215
Chen D, Zhou Q G, He C H, et al. Research on the differentiation of land use terrain feature from 1985 to 2010 in Chongqing Mountainous Metropolitan Area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(5): 210–215
[13] 张跃红, 安裕伦, 马良瑞, 等. 1960—2010 年贵州省喀斯特山区陡坡土地利用变化[J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 878–884
Zhang Y H, An Y L, Ma L R, et al. Land use change of slope land in karst mountainous regions, Guizhou Province during 1960–2010[J]. Progress in Geography, 2012, 31(7): 878–884
[14] 哈凯, 丁庆龙, 门明新, 等. 山地丘陵区土地利用分布及其与地形因子关系——以河北省怀来县为例[J]. 地理研究, 2015, 34(5): 909–921
Ha K, Ding Q L, Men M X, et al. Spatial distribution of land use and its relationship with terrain factors in hilly area[J]. Geographical Research, 2015, 34(5): 909–921
[15] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇—潼关区间 1998–2010 年土地利用变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 42–53
Luo Y, Yang S T, Liu X Y, et al. Land use change in the reach from Hekouzhen to Tongguan of the Yellow River during 1998–2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 42–53
[16] 摆万奇, 姚丽娜, 张镱锂, 等. 近 35 a 西藏拉萨河流域耕地时空变化趋势[J]. 自然资源学报, 2014, 29(4): 623–632
Bai W Q, Yao L N, Zhang Y L, et al. Spatial-temporal dynamics of cultivated land in recent 35 years in the Lhasa River Basin of Tibet[J]. Journal of Natural Resource, 2014, 29(4): 623–632
[17] 韩建平, 贾宁凤. 土地利用与地形因子关系研究——以砖窑沟流域为例[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1071−1075
Han J P, Jia N F. Relationship between topographic factor and land use — A case study of Zhuanyaogou watershed[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(5): 1071−1075
[18] 张惠远, 赵昕奕, 蔡运龙, 等. 喀斯特山区土地利用变化的人类驱动机制研究——以贵州省为例[J]. 地理研究, 1999, 18(2): 136–142
Zhang H Y, Zhao X Y, Cai Y L, et al. The driving mechanism of human forces to the land-use change in the Karst Mountain area — The case study of Guizhou Province[J]. Geographical Research, 1999, 18(2): 136–142
[19] 喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 64–69
Yu H, Zeng H, Jiang Z Y. Study on distribution characteristics of landscape elements along the terrain gradient[J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(1): 64–69
[20] 斯钧浪, 齐伟, 曲衍波, 等. 胶东山区县域土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 679–685
Si J L, Qi W, Qu Y B, et al. Distribution characteristics of land use pattern on terrain gradient in Jiaodong Mountainous areas at county level[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 679–685
[21] 钟德燕, 常庆瑞, 宋丰骥. 黄土丘陵沟壑区土地利用空间分布与地形因子关系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6): 102–107
Zhong D Y, Chang Q R, Song F J. Relationship between terrain factors and spatial distribution of land use in loess hilly and gully area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(6): 102–107
[22] 梁发超, 刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析——以湖南省浏阳市为例[J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2138–2144
Liang F C, Liu L M. Analysis on distribution characteristics of land use types based on terrain gradient: A case of Liuyang City in Hunan Province[J]. Resources Science, 2010, 32(11): 2138–2144
[23] 毛学森, Jakeman T, Dietrich C. RS 与 GIS 支持下的土地利用及植被覆盖变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(4): 52–53
Mao X S, Jakeman T, Dietrich C. Study on changes of land use and land cover based on RS and GIS technology[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(4): 52–53
[24] 许宁, 张广录, 刘紫玉. 基于地形梯度的河北省太行山区土地利用时空变异研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1284–1292
Xu N, Zhang G L, Liu Z Y. Spatial-temporal variability of land use with terrain gradient in Taihang Mountain, Hebei Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(10): 1284–1292
[25] 田超, 杨金泽, 石博安, 等. 怀来县土地利用格局的影响因子分析[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(7): 957–968
Tian C, Yang J Z, Shi B A, et al. Analysis of landscape pattern and affecting factors in Huailai County[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(7): 957–968
[26] 中华人民共和国国家地图集编纂委员会. 中华人民共和国国家自然地图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 1999
The National Atlas Compilation Committee of the People's Republic of China. National Natural Atlas of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Atlas Press, 1999
[27] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81–87
Wang X L, Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. Progress in Geography, 1999, 18(1): 81–87
[28] 邓伟, 唐伟. 试论中国山区城镇化方向选择及对策[J]. 山地学报, 2013, 31(2): 168–173
Deng W, Tang W. General directions and countermeasures for urbanization development in mountain areas of China[J]. Journal of Mountain Science, 2013, 31(2): 168–173